

Kirsi Oksanen

# Powerline Ethernet -adapterien hyödyntäminen kotiverkossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

16.5.2016

Tekijä Otsikko	Kirsi Oksanen Powerline-ethernet-adapterien hyödyntäminen kotiverkossa
Sivumäärä Aika	23 sivua 16.05.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoverkot
Ohjaaja	Lehtori Erik Pätynen
<p>Insinöörityön tarkoituksena oli Powerline-adapterien käyttö osana kotiverkon arkkitehtuuria. Inspiraatio työhön lähti omakotitaloasumisen tuomista verkkohaasteista, kun internet on tarjottu operaattorin toimesta puhelinkaapeloinnin kautta ADSL-modeemille.</p> <p>Ratkaisu oli tarkoitus joka tapauksessa toteuttaa, joten työn mahdollistamiseksi investoitiin kahden eri laitevalmistajan adaptereihin, joita testattiin niin keskenään kuin ristiin. Katsontakantaa laajennettiin työn loppupuolella myös ulkomaiseen laitetestiin, josta saatiin käsitys Isossa-Britanniassa käytettävien adapterien ominaisuuksista ja hinnoista.</p> <p>Verkon nopeustestien lisäksi käytiin läpi mahdollisia riskejä, kun tiedonsiirto viedään sähköverkkoon, sekä pyrittiin huomioimaan myös tietoturvapuoli.</p> <p>Jottei työ olisi ollut pelkkää testausta ja laitevertailua, perehdyttiin myös hieman datasähkön historiaan ja siihen mistä ajatus datan kuljetukseen sähköverkon avulla on saanut alkunsa.</p> <p>Power Ethernet -adapterit ovat sopiva ratkaisu osaksi kodin sähköverkkoa, jos tiedonsiirrossa muodostuvat ongelmaksi pitkät parikaapelit tai kiinteistön rakenteet. Eri tyyppisillä adaptereilla löytyy ratkaisu niin langallisen kuin langattoman verkon ongelmiin. Tiedonsiirron vieminen osaksi sähköverkkoa luo myös mahdollisuuden sähkölaitteiden virransyötön etähallinnalle.</p> <p>Insinöörityö antaa kattavan katsauksen tämän heiken Powerline-teknoologiaan sekä esittelee muutamia ideoita, mihin tekniikka voisi tulevaisuudessa käyttää hyödyksi esimerkiksi autoteollisuudessa.</p>	
Avainsanat	Powerline, kotiverkko, Power over Ethernet

Author Title	Kirsi Oksanen Utilising Powerline Ethernet adapters in home network
Number of Pages Date	23 pages 16 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communications Technology
Specialisation option	Networks
Instructor	Erik Pätynen, Senior Lecturer
<p>The topic of this thesis is using Powerline adapters as a part of the architecture of a home area network. Challenges of building a working home network in detached house while operator offers the internet via phone cabling through an ADSL modem gave the inspiration for this task.</p> <p>Because the study was to be carried out in any case, adapters of two different manufacturers were acquired and their mutual compatibility was tested. At the end of the study, a wider view was taken and a test regarding Powerline adapters carried out abroad was included to get know the quality and to compare the prices in the United Kingdom.</p> <p>In addition, speed tests were made for the network. Risks were also evaluated when data transfer is a part of the power grid. Information security was taken into account too.</p> <p>So that the thesis would not only describe testing and comparisons of adapters, the thesis also looks into the history of Powerline communications and how the business started.</p> <p>With different type of adapters, it is possible to build a better home network for both LAN and WLAN. Also using data transmission as a part of the power grid, it is possible to manage electric devices such as coffee makers and lighting with a remote application. In the future it might be possible to use this kind of technology for example in the car industry.</p>	
Keywords	Powerline, home network, Power over Ethernet

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Datasähkö Suomessa	2
2.1	Datasähkön alkutaival Suomessa	2
2.2	Datasähkön tuotantoon vaikuttavia ongelmia	2
2.3	Verkon rakenne	2
3	Powerline-adapterit	3
3.1	Powerline-Ethernet-adapterit	3
3.2	Ethernet-tuotteet	3
3.3	Huoneistokytkennät	4
3.4	Powerline-tuotteistus	5
3.5	Powerline, WiFi ja sovellukset	6
4	Power over Ethernet -teknologia (PoE)	6
4.1	PoE:n toiminta	7
4.2	Power over Ethernet plus -teknologia (PoE+)	8
4.3	UPoE-teknologia	9
4.4	IEEE 802.3a -standardikehitys	10
4.5	Parikaapeleiden kategoriastandardit	11
5	Laitetestaus	12
5.1	Tarvikkeet	13
5.2	Lähtökohdat ja testisuunnitelma (hypoteesi)	14
5.3	Testitulokset	14
5.4	Brittiläinen laitevertailu	17
6	Powerline-teknologian riskit	17
6.1	Paloturvallisuus	17
6.2	Tietoturva	19
7	Johtopäätökset ja yhteenveto	19
	Lähteet	22

## Liite 1: Mittaustulokset

## Lyhenteet

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line, puhelinlinjalle tarkoitettu verkkokytkenätekniikka
CAT	Category, parikaapeli, jonka numerointi kertoo käyttötarkoituksen
CAT 5	Kategorian 5 datasiirtokaapeli
CAT 6	Kaapeli suurille tiedonsiirtonopeuksille, kuten 1 Gb/s ja 10 Gb/s
IEEE 802.3af	Tehonsyöttö ja Ethernet neliparisessa kaapelissa
IEEE 802.3at	Päivitetty versio IEEE802.3af:sta, mahdollistaa kaikkien parien yhtäaikaista käyttöä
PE	Power Ethernet
PLC	Powerline communications
PoE	Power over Ethernet
PSE	Power sourcing equipment; PoE-kytkin
RJ-45	Parikaapeleissa yleisesti käytetty liitin
TKHJ	Tietokannan hallintajärjestelmä. Ohjelmisto, jonka avulla hallinnoidaan tietokantoja.
UPoE	Universal Power over Ethernet
WPA2	WiFi Protected Access 2
xDSL	Digital Subscriber Line; Digitaalinen tilaajayhteys eli tiedonsiirtoa lankapuhelinverkon kuparikaapeloinnilla

## 1 Johdanto

Insinööriyössä selvitetään Power Ethernet -adapterien hyödyntämistä kodin lähiverkossa. Nämä adapterit mahdollistavat sähköverkon hyödyntämisen tiedonsiirrossa kiinteistön sisällä tai osana rakennuksen tietoliikenneverkkoa. Tässä tapauksessa testausympäristönä on puu-/hirsirakenteinen omakotitalo, ja internetyhteys on toteutettu ADSL-modeemilla. Kiinteistö on liitetty puhelinverkkoon ilma-kaapelilla, joka mahdollistaa internetyhteyden ADSL-modeemille. ADSL-modeemiin voi kytkeä laitteita RJ-45-liittimillä varustetulla parikaapelilla suoraan tai yhdistää ne langattomasti WLAN-yhteydellä.

Rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa on käytössä yksi puhelinpistoke, johon ADSL-modeemi on kytketty. Tämä luo kaksikerroksisessa talossa omat haasteensa verkon tiedonsiirrolle laitteiden kaapelitäisyyksien kasvaessa useasta metristä kymmeneen metriin. Power Ethernet -adaptereilla voi ratkaista välimatkoista johtuvia ongelmia kustannustehokkaasti ja luoda turvallisempi asuinympäristö, koska pitkiä verkkokaapeleita ei tarvitse vetää huoneesta toiseen lattia- tai kattorakenteita pitkin tai tehdä seinärakenteisiin läpivientejä. Samalla tilat pysyvät esteettisenä epäkäytännöllisen pintakaapeloinnin sijasta.

PE-adaptereilla voidaan myös parantaa huonoa verkkoyhteyden laatua, mikä on seuraus erittäin pitkistä kaapeleista. Osassa laitteissa on myös WLAN:n siirtomahdollisuus, jolloin langattoman verkon signaalia saadaan vahvistettua, koska etäisyyttä tukiasemaan saadaan lyhennettyä adapterien signaalikaiutuksella. Adaptereiden vaikutusta siirtonopeuteen testataan Ooklan kaistanleveydestesterillä, joka kertoo lähetys- ja vastaanottonopeudet laitteesta, jossa testi on käynnistetty.

Kaikkiin internetistä kopioituihin kuviin on pyydetty lupa kuvien oikeuksien omistajilta, alkuperä on mainittu lähteissä ja kuvien jatkokäyttö ilman kuvan omistajan lupaa on ehdottomasti kielletty.

## 2 Datasähkö Suomessa

### 2.1 Datasähkön alkutaival Suomessa

Alun perin 1990-luvun haastava taloustilanne loi sähkömarkkinoille kiristyneen kilpailutilanteen, jonka vuoksi yhtiöt alkoivat pohtia uusia keinoja tarjota kattavia, mutta tuottavia palveluita asiakkailleen. Tämän myötä sähköyhtiöt lähtivät purkamaan datasähkön kytkentä- ja käyttömahdollisuuksia ensin teoreettisella ja myöhemmin käytännön tasolla ottaen huomioon kulutussähkön ja tietoliikenteen eri signaalitaajuudet, mahdolliset maadoitukset, sähkönsyöttövaiheet ja sulaketaulut. [1.]

### 2.2 Datasähkön tuotantoon vaikuttavia ongelmia

Alkutuotannossa haasteeksi muodostui teknologialta puuttuvat PLC-standardit, ja siksi laitteet ovat olleet vain valmistaja- ja tyyppikohtaisesti keskenään toimivia. Tiedonsiirron osalta ongelmaksi muodostuivat eristämättömät sähkökaapelit, joista datasiirtoon tarkoitetut taajudet aiheuttivat häiriöitä muun muassa radioliikenteeseen ja käyttösähköverkkoihin. Vastavuoroisesti erilaiset sähkölaitteet ja radiolähettimet aiheuttivat epävakautta tietoliikenteelle. Taajuushäiriöiden lisäksi PLC-laitteiden tietoturvallisuus oli kyseenalaista, sillä osassa laitteista ei ollut lainkaan suojauksia, ja ne, joissa oli, toimivat muiden lailla niin sanotussa jaetun median verkossa [1; 2.]

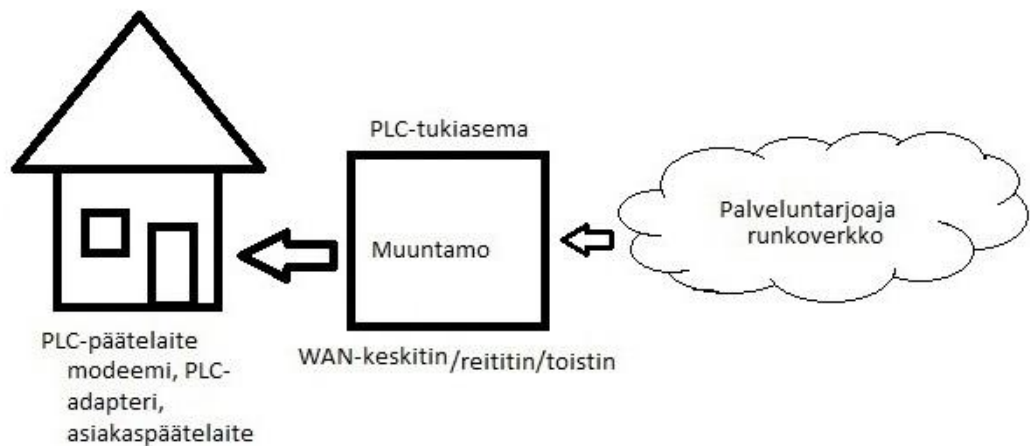
Suomessa sähköyhtiöiden tuottama datasähköverkko lakkasi lopullisesti toimimasta vuonna 2010 viimeistenkin sähköyhtiöiden luopuessa laajakaistan tuottamisesta sähköverkkoon. Kuopion Energialla oli viimeinen toimiva PLC-verkko, jonka toiminnan se myi osaksi DNA-konsernia. Sähköyhtiöiden tuottamat verkkoyhteydet poistettiin käytöstä muun muassa nopeiden WLAN-yhteyksien vuoksi. [3.]

### 2.3 Verkon rakenne

Tiedonsiirtoon oli käytettävissä kaksi erilaista laitekoonpanoa riippuen siitä, oliko kyseessä matala- vai keskijänniteverkko. Ensin mainittua käytettiin verkon välittämiseen asiakkaalle ja jälkimmäistä energiayhtiön toimittamaan WAN-yhteyteen, korvaamaan valokuitu- ja xDSL-yhteyksiä muuntamoihin. Kuvassa 1 on pelkistetty



hahmotelma palvelevan operaattorin eli energialaitoksen datasähkön toimittamisesta kotitalouksille. [1.]



Kuva 1. Yksinkertaistettu kuvio datasähkön siirtymisestä energialaitokselta kotitalouteen vuonna 2004.

### 3 Powerline-adapterit

#### 3.1 Powerline-Ethernet-adapterit

Vaikka energiayhtiöt eivät enää toimita muuntamoiden kautta sähköverkkoon internetpalveluita, ei teknologiaa ja sen tarjoamaa innovaatiota ole kokonaan haudattu. Viime vuosina erilaisia tietoteknisiä tarvikkeita myyvät liikkeet ovat lisänneet tarjontaansa eri valmistajien Powerline-Ethernet-adapttereita kotitalouksien sisäverkon laajentamiseksi. [4.]

#### 3.2 Ethernet-tuotteet

Laitteita on tarjolla perusmallisena: Power Ethernet -adapteri kytketään sähköverkkoon, modeemista liitetään RJ45-liittimillä varustettu parikaapeli adapteriin ja toisessa huoneessa kytketään pistorasiaan vastaavanlainen laite, josta viedään tietoliikenneyhteys päätelaitteeseen samanlaisella parikaapelilla. Lisäksi on muuten vastaavanlainen laite, mutta pistorasian läpiviennillä, mikä on kätevää, jos rasioita on käytössä vähän. Tällöin sähkölaite liitetään adapterissa olevaan pistorasiaan.

Kaapeleita voidaan liitinpaikoista riippuen liittää adapteriin yleensä yhdestä neljään. Kuvassa 2 on esiteltynä Power Ethernet -adaptoreita eri käyttötarpeisiin pistorasian läpiviennillä ja ilman. [4; 5.]



Kuva 2. Eri valmistajien Powerline-adaptoreita. © AllAboutAdapters.com [5].

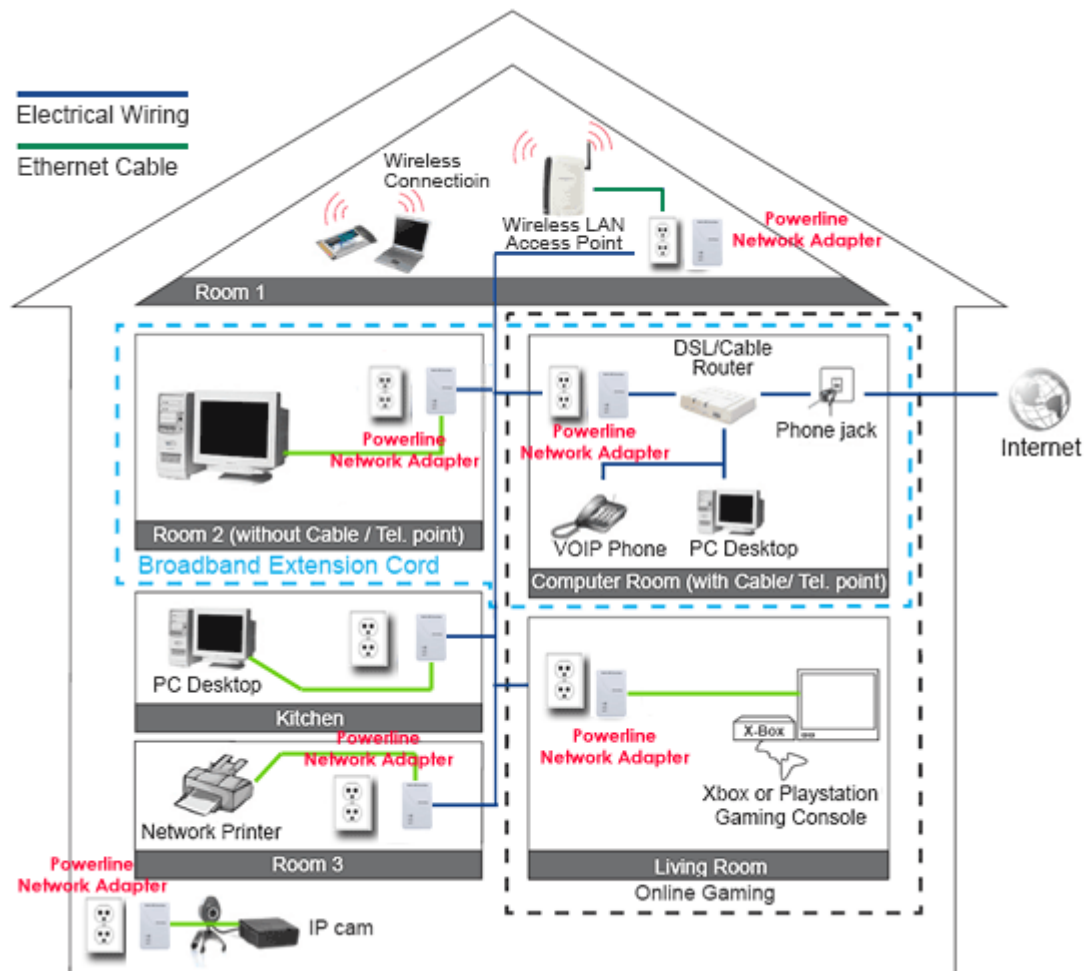
Langattoman verkon ystäville on olemassa vastaava laitteisto, mutta tietokonetta ei tarvitse liittää adapteriin kaapelilla vaan adapterit toimivat WLAN – tukiasemina ja yhteys muodostetaan langattomasti. Tällöin ei haittaa, vaikka pistorasia olisi hankalassa paikassa tai eri puolella tilaa.

### 3.3 Huoneistokytkenät

Toimivan Power Ethernet -sisäverkon rakentamiseksi tarvitaan operaattorilta internet-liittymä, puhelinverkkoon liitettävä ADSL-modeemi tai ADSL-reititin ja vähintään kaksi Power Ethernet -adapteria. Toteutuksen kannalta ei ole väliä, onko tietoverkko tuotettu ADSL-, kaapeli- tai kuituratkaisulla. Toimivuuden varmistamiseksi on parempi käyttää saman valmistajan adaptoreita.

Sisäverkossa voidaan yhdistää parikaapeloitu, langaton ja sähköverkon kautta kulkeva tietoverkko tukemaan yhtenevää kokonaisuutta halutun käyttötarpeen mukaisesti (kuva 3). Liitettäessä useita laitteita samaan sisäverkkoon kannattaa kuitenkin huomioida laitteiden käyttöaste ja operaattorin toimittaman tiedonsiirron nopeus. Käytettävissä oleva tiedonsiirtokapasiteetti jaetaan yhdessä verkossa samanaikaisesti käytössä olevien laitteiden kesken, ja tämän takia yksittäisten laitteiden käytettävyyks voi olla tavanomaista huonompi.

Luvussa 5 dokumentoiduissa testeissä testataan kahden eri laitevalmistajan adapterien keskenäistä toimivuutta (taulukot 2, 3 ja 4).



Kuva 3. Powerline-kokoonpano omakotitalossa. © AllAboutAdapters.com [5].

### 3.4 Powerline-tuotteistus

Aloittaessani tutkia Powerline-teknologiaa vuoden 2014 syyskuussa, löysin Suomen markkinoilta ja verkkosivustoilta ainoastaan tietoliikennepuolen sähköverkkoon kytkettäviä adaptoreita internetin jakamista varten. Vuotta myöhemmin löysin lisää samaa tekniikkaa käyttäviä laitteita: lamppuja ja pistorasioita. [4.]

### 3.5 Powerline, WiFi ja sovellukset

Kotien automaatiota ja etähallintaa voidaan nykypäivänä lisätä langattomasta verkosta tai mobiilisovelluksilla ohjattavilla LED-polttimoilla ja pistorasiakytkimillä [4].

Valaistuksen hallintaan tarvitaan erikoisvalmisteiset, etähallinnan mahdollistavat polttimot, pistorasiaan kytkettävä linkkilaite (kuva 4), langaton verkko ja päätelaite, jolla voidaan kytkeytyä langattomaan verkkoon, esimerkiksi tabletti, tietokone tai matkapuhelin. Säättely tehdään tuotevalmistajan ilmaisella sovelluksella. [4.]



Kuva 4. Powerline – teknologian linkki, LED-polttimot ja pistorasiaan liitettävä kytkin. © Jimms PC Store [4].

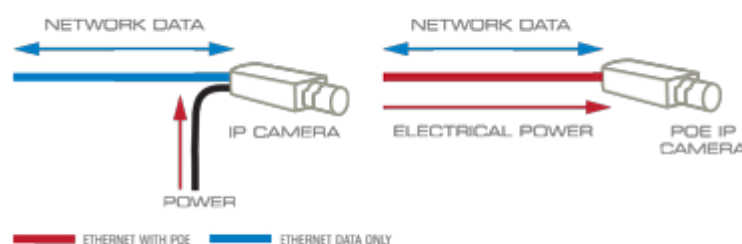
Pistorasiakytkimet toimivat etähallittavina virtakytkiminä ja mahdollistavat minkä tahansa niihin kytketyn elektronisen laitteen poistamisen sähköverkon vaikutuspiiristä [4].

Tämä teknologia tekee siis mahdolliseksi unohtuneiden sähkölaitteiden, kuten kahvinkeitin ja valaistuksen sammuttamisen, vaikka olisi jo poistunut kotoa. Tämä luo lisäturvallisuutta palovahinkojen osalta ja tuo säästöjä sähkönkulutukseen virran etäsammutuksen ja laitteiden ajastamisen myötä.

## 4 Power over Ethernet -teknologia (PoE)

Power over Ethernet on vastakkainasettelua Powerlinen kanssa. Sen sijaan, että tietoliikenne viettäisiin sähköverkkoon, tapahtuu päinvastoin. Sähkö viedään vähintään CAT5-kaapeloituun tietoverkkoon. Teknologia mahdollistaa virransyötön esimerkiksi

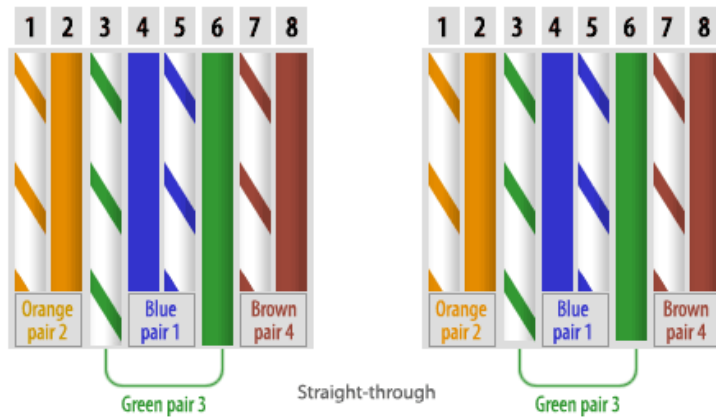
WLAN-tukiasemalle, jos virtapistokkeita ei ole saatavilla. Sen avulla voidaan myös vähentää turvakameran piuhoituksia, kun virransyöttö ja tiedonsiirto toteutetaan saman parikaapelin kautta (kuva 5). [6; 7.] Tämä on myös mahdollisuus työaikapäätteiden kaapeloinnin vähentämiseksi, mikä ansiosta tilojen nykyaikaistamisessa kulunvalvonnan osalta remonttikustannuksia voidaan saada alhaisemmiksi, kun seiniä ei tarvitse avata sähkökaapeloinnin muokkaamista varten vaan virta voidaan antaa päätteelle pintakaapeloinnin avulla.



Kuva 5. IP-kameran ja PoE IP -kameran eroavaisuus. © Veracity UK Ltd [6].

#### 4.1 PoE:n toiminta

CAT-verkkokaapeleissa on kahdeksan piuhaa, jotka muodostavat neljä johdinparia. PoE valjastaa kaksi paria virransyötölle. Parit muodostuvat johdoista 1 ja 2 sekä 3 ja 6, ja piuhaparit 4, 5 ja 7, 8 jäävät vapaiksi tiedonsiirrolle (kuva 6). Vastaavalla tavalla voidaan myös jakaa samasta Ethernetpistokkeesta kaksi verkkoliityntäpistettä jakajalla, jota kutsutaan myös splitteriksi (kuva 7), koska data käyttää kulkuunsa vain neljä piuhaa kahdeksasta ja splitterillä saadaan kaikki kahdeksan johtoa käyttöön (neljä johtoa jakajan pistoketta kohti). [8; 9.]



Kuva 6. Niin sanotun suoran parikaapelin EIA/TIA 568B -standardin mukainen johdinjärjestys. © Trango Systems, Inc. [8].

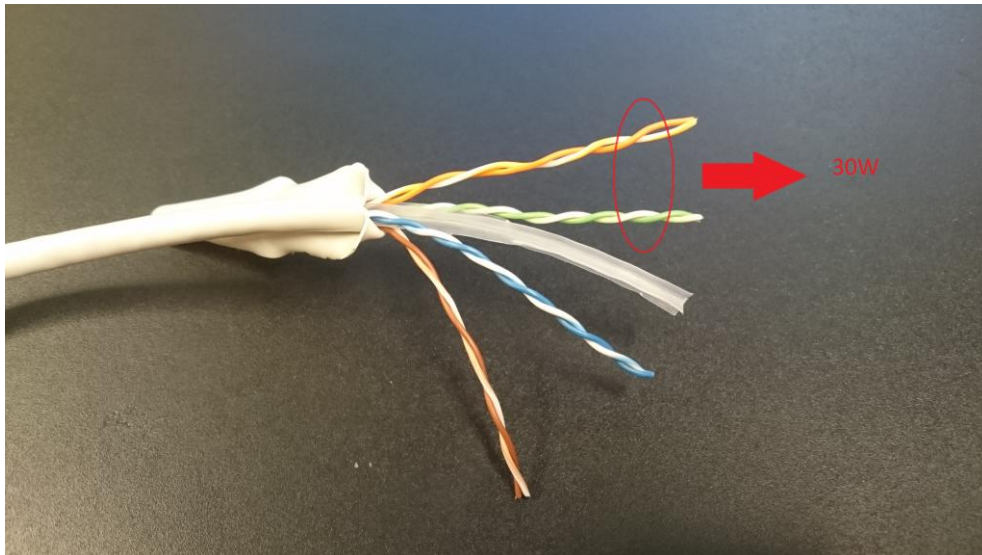


Kuva 7. Splitteri. © Jimms PC Store [10].

Jotta kokonaisuus saataisiin käyttöön, tarvitaan PoE-kytkin virran syöttämiseksi laitteille. Kytkimen maksimi antoteho on 15,4 W ja vastaanottavan laitteen maksimi ottoteho on 12,95 W. [7.]

#### 4.2 Power over Ethernet plus -tekniologia (PoE+)

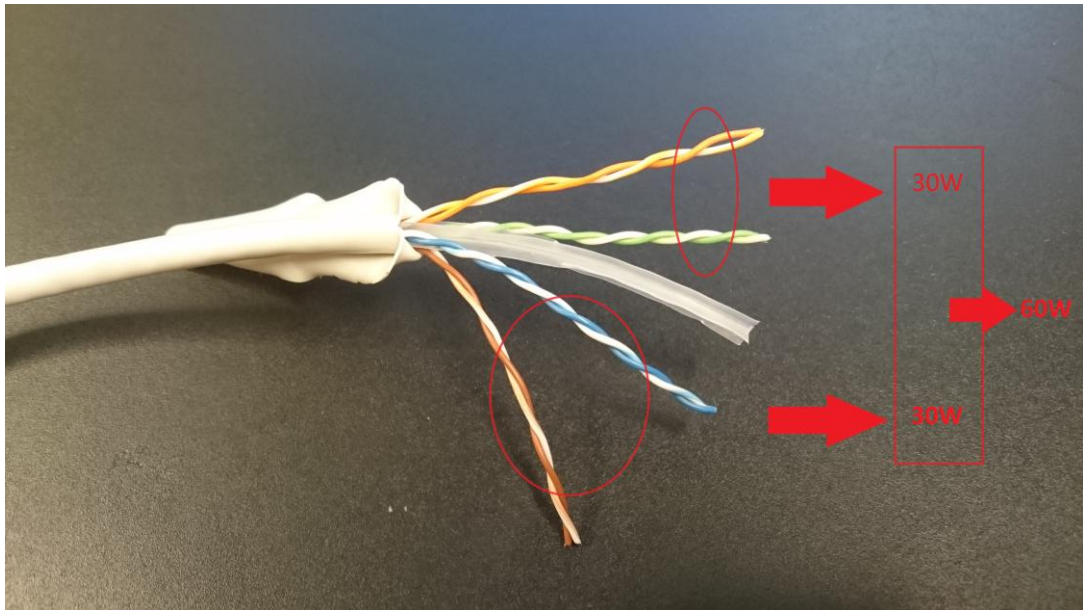
PoE+ on IEEE 802.3at -standardoitu, kun taas perus-PoE on IEEE 802.3af -standardissa. Kehitys mahdollistaa lähes kaksinkertaisen virransyötön eli 30 W (kuva 8), jolloin järjestelmään liitettävän laitteen ottoteho voi olla 25,5 W. Kaapelointi on samanlainen kuin vanhemmassa PoE:ssa. [11.]



Kuva 8. PoE- ja PoE+-arkkitehtuuri [11.]

#### 4.3 UPoE-teknologia

Universal Power over Ethernet eli UPoE käyttää kaikkia neljää piuhaparia käyttäen kuitenkin samaa arkkitehtuuria kuin PoE ja PoE+ (kuva 9), ja se on virransyöttöominaisuuksiltaan kaksinkertaisesti parempi kuin PoE+. PoE ja PoE+ päätelaite pitää olla kytkettynä sähköverkkoon, mutta UPoE mahdollistaa laitteen kytkemisen suoraan kytkimeen eikä erillisiä seinäpistokkeita tarvita. Tätä voi hyödyntää esimerkiksi uusiokäyttäessä vanhoja kiinteistöjä, joissa sähkökaapelointi ja seinäpistokkeiden määrä on rajoitettu. Toisin kuin PoE ja PoE+, UPoE on Ciscon patentoima. [11.]



Kuva 9. UpoE on kuin PoE+, mutta hyödyntää kaikkia piuhapareja [11].

Taulukko 1 havainnollistaa ja summaa PoE:n, PoE+:n ja UPOE:n keskinäiset yhteneväisyydet ja eroavaisuudet sekä osoittaa kehityksen suunnan.

Taulukko 1. Power over Ethernet – vertailu [11].

	PoE	PoE +	UPoE
Kaapelin vähimmäisvaatimus	Cat5e	Cat5e	Cat5e
IEEE-standardi	802.3af	802.3at	Ciscon patentti
Maksimivirta per PSE-portti	15,4 W	30 W	60 W
Maksimivirta päätelaitteelle	12,95 W	25,5 W	51 W
Käytetyt piuhaparit	2-pari	2-pari	4-pari

#### 4.4 IEEE 802.3a -standardikehitys

Power over Ethernetin standardisointi sai alkunsa vuonna 1982 kokeellisen Ethernetin patentoinnin jälkeen, kun syntyi Ethernet II, joka tarkoitti paksua koaksiaalikaapelia,



jonka tiedonsiirtokyky oli 10 Mb/s. Ethernet I kehitettiin vuonna 1972, ja patentti saatiin kuuden vuoden päästä. Silloinen siirtokyky koaksiaalikaapelilla oli 2,94 Mb/s. [15.]

Vuonna 1983 syntyi IEEE 802.3 -standardi ja 10BASE5, joka on ensimmäinen Ethernet-verkko, joka on päässyt laajaan levitykseen. Nimi on loogisesti rakennettu lyhennelmä siirtonopeudesta, 10 Mb/s, baseband-kantataajuusmoduloinnista sekä verkon alueen enimmäispituudesta satoina metreinä eli 500 metriä. Käytetty kaapeli on paksua ja jäykkää, ja verkko tarvitsee toimiakseen lähettimen ja vastaanottimen. Vuonna 1985 tuli uusi Ethernet-standardi, IEEE 802.3a, jossa tiedonsiirtonopeus on yhä sama, mutta segmentin pituus on lyhyempi ja koaksiaalikaapeli ohuempaa kuin IEEE 802.3:ssa. [15.]

Parikaapelointi standardisoitiin vuonna 1990 IEEE 802.3i -standardilla. 10BASE-T:n tiedonsiirtonopeus on 10 Mb/s, ja T merkitsee sanaa twisted ja viittaa kierrettyihin parikaapeleihin. Parikaapeloinnin jälkeen kehitettiin Ethernetiin muun muassa kuituyhteyksiä (1993), Fast Ethernet 100 Mb/s-siirtonopeudella (1995), Gigabit Ethernet kuidulle ja parikaapeloinnille (1998–1999), jonka myötä siirtonopeus kasvoi 10 Gb/s kuidulle vuonna 2003. Samaisena vuonna myös standardisoitiin Power over Ethernet eli luotiin standardi IEEE 802.3af ja virransyöttö saatiin siirrettyä verkkoon. Vuonna 2009 standardisoitiin PoE+ eli paranneltu versio IEEE 802.3at:sta. [15.]

#### 4.5 Parikaapeleiden kategoriastandardit

Parikaapeloinnissa on on käytössä eurooppalaiset (EN), kansainväliset (ISO/IEC ja IEC) ja yhdysvaltalaiset (ANSI/TIA) standardit. IEEE:n keskittyessä enemmänkin kaapeleiden siirtonopeuksiin CAT-standardit käsittelevät liittimen suorituskkyä eri taajuusalueilla ja kantomatkalla. Esimerkiksi kategorian 6 (CAT6) ylärajataajuudeksi kanavapituutta kohden on määritetty ja varmistettu 500 MHz sadalle metrille. [16.]

Aluekohtaisesti standardoiduilla liittimillä on keskenään suorituseroja, mikä kannattaa huomioida kaapeloinnissa. Yhdysvaltalaisen CAT6A-liittimen suorituskky on huonompi eurooppalaiseen CAT6<sub>A</sub>-liittimeen verrattuna: 500 MHz:n taajuusalueella 3 desibeliä. [16.]

Kansainvälisesti ja eurooppalaisittain (ISO ja EN) käytetään taajuuteen ilmaisuun kirjainluokittelua A-E, E<sub>A</sub>, F ja F<sub>A</sub>, joista luokasta D eteenpäin löytyy TIA:n mukaiset CAT-merkinnät (taulukko 2). [16.]

Taulukko 2. Luokkien ja kategorioiden rinnastaminen taajuusalueelle.

Luokka D	CAT5	100 MHz
Luokka E	CAT6	250 MHz
Luokka EA	CAT6A	500 MHz
Luokka F	CAT7	600 MHz
Luokka FA	CAT7A	1000 MHz

Euroopassa on otettu vuonna 2007 käyttöön vuonna EN 50173, johon sisältyvät standardit EN 50173-1, EN 50173-2, EN 50173-3, EN 50173-4 ja EN 50173-5. Näillä standardeilla määritellään kaapeloinnin perusvaatimukset: toimiston, kotitalouden, teollisuuden ja konesalien tila- ja ympäristövaatimukset. Lisäksi sarjaan kuuluvat myös ympäristöluokitukset, joilla varmistetaan kaapeloinnin kesto ja signaalin kulku tietyissä ympäristöolosuhteissa. Ympäristöt on jaoteltu toimistotiloihin, kotitalouksiin, kevytteollisuuteen ja raskaaseen teollisuuteen. Rakennusvaiheessa suunnittelija tekee ympäristölle määrityksen, jonka mukaan rakennetaan standardien mukaisista komponenteista vaaditut kriteerit täyttävä ympäristö. [16.]

## 5 Laitetestaus

Insinööriyön testausympäristönä toimi alun perin 1940-luvulla rakennettu hirsi- ja puurunkoinen omakotitalo, joka on uudelleenrakennettu 1990-luvun alussa. Operaattorin tarjoama internet-yhteys tuli ilmakaapelia pitkin talon rakenteiden kautta rakennuksen ainoaan puhelinpistokkeeseen keittiöön. Puhelinkaapeloinnin vuoksi paras kiinteä yhteys oli toteutettu ADSL-tekniikalla. Mobiiliverkko voisi teoreettisesti tarjota nopeamman yhteyden, mikäli 4G-verkon peittoalueen reunaraja ei kulkisi talon alueen vierestä. Tämän takia mobiiliverkon tarjoama siirtonopeus perustuu 3G-teknologiaan, ja sen siirtonopeus oli parhaimmillaan 3,6 Mb/s. [12.]

## 5.1 Tarvikkeet

Valitsin testaukseen tarkoituksellisesti kahden eri laitevalmistajan tuotteita. Koska modeemi oli Zyxelin valmistama, oli turvallista valita samalta valmistajalta myös adapteripari yhteensopivuuden varmistamiseksi. TP-Linkin adapterit otin mukaan testiin, jotta voisin itse havainnoida eri laitevalmistajien laitteiden yhteensopivuutta.

ADSL-modeemissa on WLAN-ominaisuus kuten myös toisessa TP-Linkin adapterissa. Zyxelin adapteripari ja TP-Link TL-PA4010 ovat tavallisia siirtoadaptereita, joihin päätelaite kytketään verkkopiuhalla. Zyxelin adapterien maksimisiirtonopeus on 600 Mbps ja TP-Linkin 500 Mbps. Kuvassa 10 on nähtävissä testiympäristössä käytetty verkkolaitetekoonpano.



Kuva 10. Laitetekoonpano koostui Zyxelin ja TP-Linkin laitteista.

Laitteet:

- modeemi Zyxel P-661HNU-F1
- 2 kpl Zyxel PLA5205 600 Mbps
- TP-Link TL-WPA4220 500 Mbps
- TP-Link TL-PA4010 500 Mbps

## 5.2 Lähtökohdat ja testisuunnitelma (hypoteesi)

Testauksen alussa oletin, että Zyxelin laitteet toimivat keskenään ongelmitta, mutta TP-Linkin kanssa voisi tulla ongelmia tiedonsiirrossa, kun eri valmistajien laitteita käytetään ristiin. Modeemin tiedonsiirtonopeus päätelaitteelle verkkokaapelilla on lähes kaksinkertainen WLAN:iin verrattuna, joten en odottanut kovin suuria adaptereilta. Oletin myös, että adapterien siirtonopeus olisi mahdollisesti jossain kiinteän ja WLAN-yhteyden väliltä. Arvioihini vaikutti myös, että Zyxelin adapterien maksimisiirtonopeus on 100 Mbps parempi kuin TP-Linkin.

Testit toteutettiin asuinrakennuksen keittiössä, olohuoneessa ja yläkerran makuuhuoneessa, kauimmaiselta sähköpistokkeelta modeemin sijaintiin nähden. Laittevalmistajien laitteet testattiin ristiin, kytkien adapterit vuorotellen sähköverkon alku- ja loppupäähän, ja raportoin tulokset Excel-taulukkoon, jossa oli myös vertailupohjana yhteysnopeus, kun päätelaite oli kytketty suoraan modeemin porttiin verkkokaapelilla. Testimittaukset tehtiin Ooklan nopeustestillä sivustolla <http://www.speedtest.net/>. Testissä käytettiin päätelaitteena Lenovon T400-kannettavaa tietokonetta.

## 5.3 Testitulokset

Testitulokset havainnollistavat kotiverkon tietoliikenteen datan siirtokykyä. Taulukoissa 3-5 ovat merkittynä mittauspisteet alkaen lähtökohdista (taulukko 3), johon merkityt tulokset toimivat vertauspohjana keittiön, olohuoneen ja yläkerran tiedonsiirtonopeuksille. Liitteessä 1 ovat nähtävissä kattavat mittaustulokset, joiden

perusteella taulukoihin 3, 4 ja 5 on laskettu Microsoft Excelillä tiedonsiirron keskiarvo ja keskihajonta sekä lataus- että lähetysnopeudelle mittauspistettä kohti.

Taulukko 3 edustaa mittauksen kannalta ideaalitulannetta, eli mittauksissa käytettävä työasema on lyhyellä verkkopiuhallalla kiinni ADSL-modeemissa. Neljänteen taulukkoon on kerätty testituloksia yläkerran tiedonsiirtonopeuksista ja siinä käsitellään niin saman laitevalmistajan adapterien välillä tapahtuvaa verkkoliikennettä kuin eri laitevalmistajienkin eli niin sanottu ristiin testaus. Viides taulukko on samoilla linjoilla neljännen kanssa, mutta siinä mittauspisteenä ovat olohuoneen sähköpistokkeeseen liitetyt adapterit. Vertauspohjaksi adapterien käytölle mittauksissa on myös langattoman verkon tiedonsiirtonopeus eli WLAN-yhteyden todellinen käyttökapasiteetti.

Taulukko 3. Perusarvot mittauksen alusta, joihin tuloksia verrataan.

Lähtökohdat:		Keskiarvo	Keskihajonta Download	Keskihajonta Upload
Modeemin vieressä verkkopiuhallalla kytkettynä (Mb/s):		13,61/0,85	0,257358375	0,017320508
Modeemin vieressä WLAN:lla (Mb/s):		6,86/0,82	0,543721743	0,045825757
Olohuoneesta WLAN:lla keittiön modeemiin (Mb/s):		7,23/0,80	0,810740402	0,025166115
Yläkerrasta WLAN-yhteys keittiönmodeemiin (Mb/s)		7,10/0,79	0,381094914	0,030550505

Taulukko 4. Testitulokset yläkerran verkkoyhteyksistä.

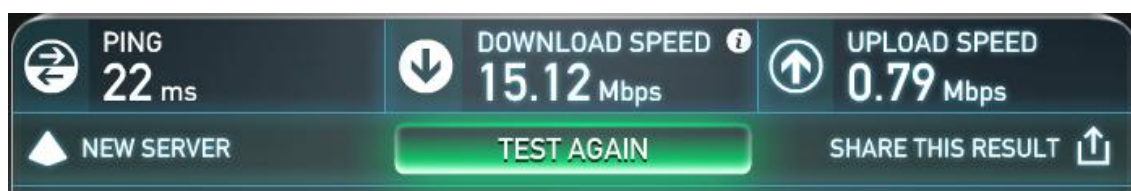
Verkkoyhteys yläkertaan				
		Keskiarvo	Keskihajonta Download	Keskihajonta Upload
Keittiön pistokkeessa	Yläkerran pistokkeessa			
TP-Link TL-PA4010	TP-Link TL-WPA4220	15,18/0,79	0,185831465	0
	ZyxeI PLA5205	15,12/0,83	0,045092498	0,037859389
TP-Link TL-WPA4220	TP-Link TL-PA4010	14,94/0,76	0,275378527	0,081853528
	ZyxeI PLA5205	15,04/0,82	0,07	0,05
	WLAN-yhteys keittiöstä	15,09/0,85	0,188767935	0,025166115
ZyxeI PLA5205	TP-Link TL-WPA4220	15,12/0,83	0,01	0,036055513
	TP-Link TL-PA4010	15,12/0,86	0,043588989	0

Taulukko 5. Testitulokset alakerran verkkoyhteyksistä.

Verkkoyhteys alakertaan				
		Keskiarvo	Keskihajonta Download	Keskihajonta Upload
Keittiön pistokkeessa	TP-Link TL-WPA4220	15,13/81	0,02081666	0,02081666
	ZyxeI PLA5205	15,41/0,83	0,023094011	0,079372539
TP-Link TL-WPA4220	TP-Link TL-PA4010	15,15/0,82	0,02081666	0,011547005
	ZyxeI PLA5205	15,13/0,78	0,075718778	0,052915026
	WLAN-yhteys keittiöstä	15,11/0,84	0,055075705	0,032145503
ZyxeI PLA5205	TP-Link TL-WPA4220(piuha)	15,16/0,82	0,026457513	0,058594653
	TP-Link TL-WPA4220(WLAN)	15,09/0,75	0,066583281	0,188237439
	TP-Link TL-PA4010	14,64/0,85	0,74144004	0,005773503
	ZyxeI PLA5205	13,78/0,83	0,060277138	0,011547005

## Tulokset

Adapterien hyvät nopeudet koneen ollessa yhteydessä modeemiin kiinteällä yhteydellä tai WLAN:lla olivat melkoinen yllätys. Kiinteän yhteyden päihittäminen selittynee mahdollisuudella käyttää lyhyempää piuhaa modeemin ja adapterin välillä verrattuna modeemin ja päätelaitteen välillä.



Kuva 11. Ooklan nopeustesti mittausten aikana.

Jotta tuloksista sai mahdollisimman luotettavat, otin jokaisesta mittauspisteestä kolme peräkkäistä mittausta ja laskin kullekin osa-alueelle keskiarvon vertailun helpottamiseksi.

TL-WPA4220 – TL-PA4010 -testi yläkerrassa oli hieman heikompi kuin muut tulokset hetkellisen verkon lisäkuormituksen vuoksi. Siihen suhteutettuna tulos oli loistava, sillä vaikutus oli lähes olematon.

Zyxelin laitteiden keskinäinen tulos tuli myös hieman yllätyksenä, ottaen huomioon, että Zyxelin adapterit toimivat varmemmin ja tehokkaammin TP-Linkin kanssa. Yleisesti kuitenkin tavataan olettaa, että saman laitevalmistajan laitteet toimivat omana kokoonpanonaan tehokkaammin, kun komponenttien luulisi olevan keskenään

yhteensopivampia kuin kilpailevan laitevalmistajan. Testitulokset kuitenkin osoittivat toisin, vaikka erot eivät järkeä suuria olleetkaan.

#### 5.4 Brittiläinen laitevertailu

Isossa-Britanniassa PL-adapterien kysyntä kasvaa, ja PC Advisor on tehnyt tuotetestin 18 adapterille vuosien 2015–2016 parhaiden laiteiden hankinnan helpottamiseksi. Sivusto esittelee Powerline-tekniikan etuuksia sähköverkossa ja helppokäyttöisyyttä. [14.]

Britanniassa, samoin kuin Suomessa, laitteet ovat pääasiassa 500–600 Mbps - tiedonsiirtonopeudella, mutta testi esittelee myös nopeimpia, 1200Mbps nopeuksisia adaptereita. Testin kokonaisskala on 300 Mbps:sta 1 200 Mbps:iin. [14.]

Testin odotetusti voittivat 1 200 Mbps:n siirtonopeuden omaavat laitteet: Solwise Smartlink ja Devolo 1200+. Muun muassa TP-Linkin vastaavanlainen adapteri oli vain puoli tähteä huonompi. Laitevalikoimassa oli niin tuttuja kuin tuntemattomampiakin valmistajia edellä mainittujen lisäksi: Netgear, BT, Trendnet, Zyxel ja D-Link. [14.]

Listalla oli myös hintavertailukelpoinen laite omaan testiini, TP-Link AV500 300 Mbps. PC Advisorin tietojen mukaan laitteen hinta Britanniassa on 89,99 puntaa parilta eli 133,19 euroa (Forexin kurssi punnalle euroon nähden 1,48 € 10.11.2015). Laitteessa on huonompi tiedonsiirtonopeus kuin testilaitteessani, mutta Suomessa vastaavanlainen adapteripari suuremmalla nopeudella (500 Mbps) maksaa 69,90 euroa. [4; 14.]

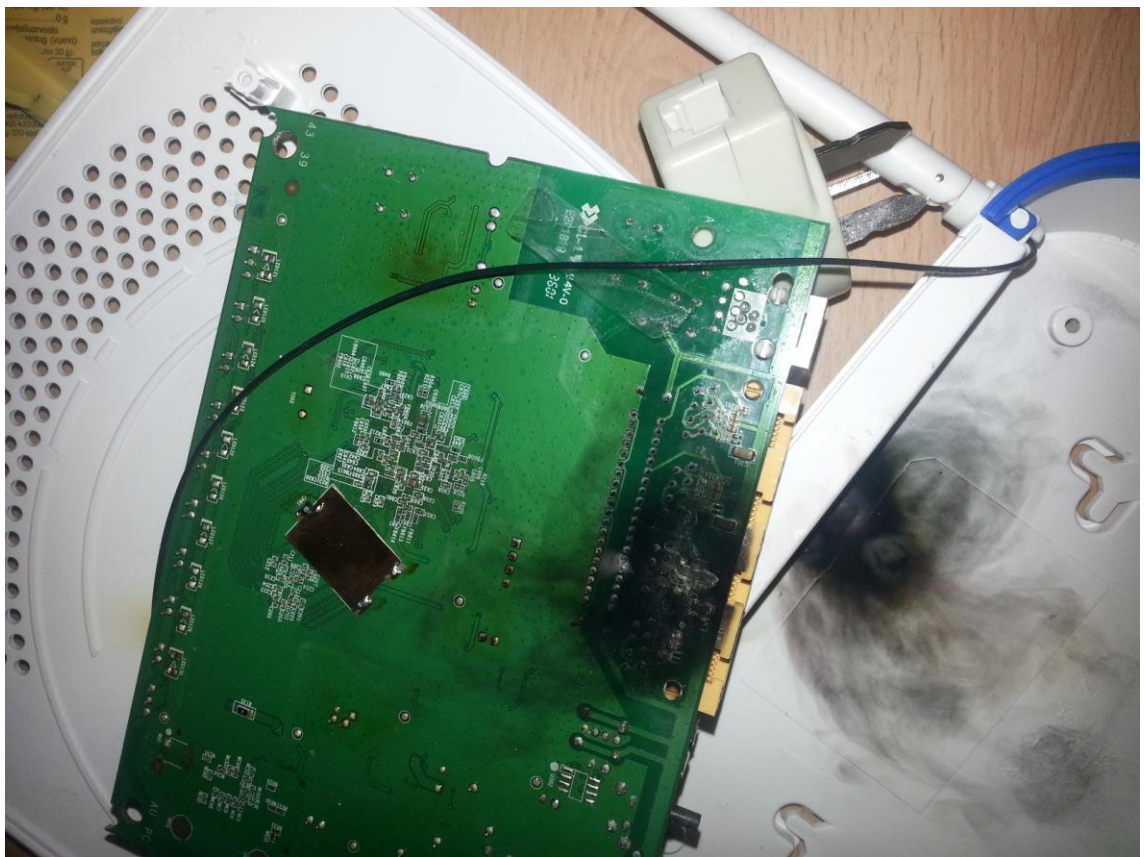
## 6 Powerline-tekniikan riskit

### 6.1 Paloturvallisuus

Omakotitaloympäristössä adapterien käytössä tulee huomioida etenkin ukonilman aiheuttamat mahdolliset riskit. Jos ukkonen iskiee ilmakaapeliin ja kulkeutuu siitä puhelinverkkoon, adapterien käyttö modeemissa mahdollistaa salaman sähköpurkautumisen pääsyn sähköverkkoon, mistä voi aiheutua laajoja ja vakavia

tuhoja. Mikäli käytössä on pelkästään ADSL-modeemi tai -reititin WLAN-yhteydellä, salaman vahingot jäävät modeemiin ja porttiin, johon yhteys on tuotu.

Kesällä 2015 sain todistaa salaman aiheuttaman vahingon, kun sähköpurkaus iski puhelinkaapelointia pitkin tuhoten täysin ADSL-modeemin ja aiheutti laitteen sisälle pienen palon. Lisäksi salaman sähkövoima oli jatkanut verkkokaapelia pitkin digisovittimeen, josta oli ylikuumentunut verkkoportti ja kondensaattorit olivat turvonneet ja rikkoutuneet. Jos tähän kokoonpanoon olisi vielä mahdollistettu pääsy sähköverkkoon, laitetuhot olisivat voineet olla huomattavasti suuremmat. Kuvassa 12 on purettuna osiin ukonilmassa hajonnut ADSL-modeemi.



Kuva 12. Ukkosen aiheuttama modeemirikko heinäkuussa 2015.



## 6.2 Tietoturva

Kotitalouksissa on harvemmin käytössä erillisiä palomuuureja tai liikennettä rajoittavia pääsylistoja (access list). Tästä syystä langattomassa verkossa on syytä käyttää yhteyksissä salauksia. Operaattorit tarjoavat nykyään ADSL-modeemille ja -reitittimelle salauksen, mutta lisäksi tämä kannattaa huomioida myös adapterien käytössä. Langattomissa Power Line -adaptereissa kannattaa yhtä lailla huolehtia salatun yhteyden saatavuudesta.

Langattoman verkon salaamisella estetään oman verkon luvaton käyttö. Näin ollen voidaan välttää lainvastainen tiedostonlaataaminen verkon haltijan nimiin ja verkon ylikuormittaminen, jos liikennettä syntyisi liikaa.

Nykyään kotitalouksiin suositellaan WPA2-salausta, joka on Wi-Fi Alliancen kehittämä. [13.]

Verkon tietoturvan lisäksi päätelaitteelle on hyvä hankkia haittaohjelmia ja viruksia varten virustorjuntaohjelmisto, jolle löytyy runsaasti niin kaupallisia kuin ilmaisiaikin vaihtoehtoja.

## 7 Johtopäätökset ja yhteenveto

Insinööritö osoitti, että aina ei kannata olettaa vaan joskus kannattaa antaa mahdollisuus muillekin laitteille. TP-Linkin adapterien siirtonopeudet verrattaessa TP Linkiä ja TP Linkiä sekä ristiintestauksessa TP Link ja Zyxel olivat mittauksissa mittauspisteestä riippuen suurempia kuin Zyxelin ja Zyxelin adapterien välillä. Esimerkiksi verkkoyhteyksissä olohuoneen ja keittiön välillä TP Linkin adaptereilla keskiarvoinen siirtonopeus oli download/upload Mb/s 15,13/0,81, ristiintestattuna TP Link TL-PA4010 ja Zyxel PLA5205 15,41/0,83 ja Zyxelin adaptereilla 13,78/0,83 (liite 1).

Itselleni TP-Link oli verkkolaittevalmistajana lähes tuntematon Zyxeliin verrattuna. Harkitsin pitkään TP-Linkin tilalle D-Linkin vastaavanlaista laitteistoa, mutta omakohtainen kokemus aiemmista tämän valmistajan tuotteista ohjasi kokeilemaan jotain uutta.

Kun asuinympäristö on laaja tai verkkopistokkeiden määrä ja/tai sijainti rajoitettu, adapterit ovat oiva ratkaisu. Lisäksi olen saanut suullisesti kysymällä kahdelta muulta adapterien käyttäjältä (lähisukulaisia) lisäkokemuksia tukemaan johtopäätöstä. Ensimmäinen vertailuympäristö oli yksikerroksinen omakotitalo, jossa adapterien käyttöön oli päädytty, jottei asunnon halki kulje yli 10 metriä pitkää verkkokaapelia, josta seuraa turvallisuusriski kompastumisvaaran myötä sekä verkkoyhteyden laadun heikentyminen pitkän kaapelivedon vuoksi. Toinen vertailukohde oli kerrostaloasunto, jossa olohuoneen ja lastenhuoneen välillä oli kantava umpibetoninen seinä. Sen paksuus aiheutti WLAN:n signaalin vaimenemisen hidastaen tiedonsiirtonopeutta, ja vaikutus on havaittu etenkin internetin reaaliaikaisilla peleillä.

Adapterien käytöstä on siis niin esteettisiä kuin kodin turvallisuuden kannalta tiettyjä etuja, mutta lisäksi kannattaa harkita esimerkiksi ukkossuojattuja sähköpistokkeita tai mahdollisesti Powerline-tekniikan pistorasioita sähköturvallisuuden parantamiseksi siltä varalta, että ukkonen iskee, kun ei ole kotiloissa irrottamassa verkkolaitteita pois sähkö- tai puhelinverkon ulottuvilta.

#### Tulevaisuuden pohdintoja

Lähtökohtana datasähkön oli tarkoitus kilpailuttaa sähköyhtiöiden markkinoita ja saada sähkön myynti nousuun ja samalla yrittää parantaa internetyhteyksien tarjontaa. Nykypäivänä tiedonsiirto adaptoreilla rakennuksen sisällä kilpailuttaa langattomien verkkojen laitteita ja tuo vakaammat yhteydet, jotka eivät ole riippuvaisia tukiaseman signaalille aiheutuvista erilaisista häiriöistä kuten WLAN:lla on ongelmana.

Testitulosten ja käyttökokemusten perusteella voidaan olettaa, että adapterit alkavat yleistyä, kun ne tulevat suomalaisille tutummiksi. Kotiverkkoon saadaan useiden metrien mittaiset kaapelit korvattua vain metrinkin pituisilla parikaapeleilla, kun sähköverkostolla korvataan aiemmat pitkät, pintavetoiset verkkokaapeloinnit. Lisäksi muut Powerline – tekniikan laitteet ovat unohteleville ja neuroottisille ihmisille helpotus, kun sähkölaitteiden virransyöttöä voi hallinnoida etänä. Näin saadaan myös sähkönkulutusta pienemmäksi eikä vanhanaikaisia mekaanisia ajastimia ole pakko virittää jokaiseen pistorasiaan. Yhtä lailla tämä tuo mahdollisuuden kesämökkien naamiointiin ympärivuotisen käytön näköiseksi, kun valot eivät joka ikinen päivä syty ja sammuu samaan vuorokauden aikaan.

Vain aika näyttää, mihin kaikkeen tätä teknologiaa voidaan vielä soveltaa ja kehittää. Itse voisin kuvitella mahdollisuuksia myös ulkokäyttöön nykyisten sisälaitteiden lisäksi, ja kenties samantyyppisiä sovelluksia voisi tulla autojenkin teknologiaan: sovelluksella moottorin lisälämmitin päälle tai tarkistus jäivät sisä- tai ajovalot päälle tyhjentämään akkua, tai mahdollisesti autoon liitetään modeemi ja akku antaa sille virran. Muun muassa viranomaiskäytössä sovelletaan jo hieman tämänsuuntaisia ratkaisuja.

## Lähteet

- 1 Datasähkö Suomessa 2004. 2004. Verkkodokumentti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 46/2004. <[http://www.lvm.fi/fileserver/46\\_2004.pdf](http://www.lvm.fi/fileserver/46_2004.pdf)> Luotu 2004. Luettu 20.4.2015.
- 2 Information Resource on the PLC Communication Technology. 2003. Verkkodokumentti. Österreichische Versuchssenderverband. <[http://www.powerline-plc.info/index\\_en.html](http://www.powerline-plc.info/index_en.html)> Luotu 2003. Luettu 20.4.2015.
- 3 Wlan päihitti datasähkön. 2010. Verkkodokumentti. Digitoday. <<http://www.digitoday.fi/data/2010/03/11/wlan-paihitti-datasahkon/20103645/66>> Luotu 25.3.2010. Luettu 15.4.2015.
- 4 Jimms – Powerline tuotekuvasto. 2015. Verkkodokumentti. Jimms PC Store. <<http://www.jimms.fi/fi/Product/List/000-ONK/verkkotuotteet--datasahko-ja-poe--powerline>> Päivitetty 2015. Luettu 11.10.2015.
- 5 High Speed Ethernet Over AC Powerline Network Adapter Kit. 2013. Verkkodokumentti. AllAboutAdapters.com <<http://www.allaboutadapters.com/hispetovacpo.html>> Luotu 2013. Luettu 11.10.2015
- 6 Power over Ethernet (POE) Explained Part I. 2010. Verkkodokumentti. Veracity UK Ltd. <<http://www.veracityglobal.com/resources/articles-and-white-papers/poe-explained-part-1.aspx>> Luotu 2010. Luettu 11.10.2015.
- 7 Power over Ethernet (POE) Explained Part II. 2010. Verkkodokumentti. Veracity UK Ltd. <<http://www.veracityglobal.com/resources/articles-and-white-papers/poe-explained-part-2.aspx>> Luotu 2010. Luettu 11.10.2015.
- 8 CAT-5 ethernet cable standards & PIN-OUT assignments. 2015. Verkkodokumentti. Trango Systems. <<https://www.trangosys.com/cat-5-ethernet-cable-standards-pin-out-assignments>> Päivitetty 2015. Luettu 15.10.2015.
- 9 How-to make your own Ethernet "splitter". 2015. Verkkodokumentti. Instuctables. <<http://www.instructables.com/id/How-to-make-your-own-Ethernet-%22splitter%22>> Päivitetty 2015. Luettu 15.10.2015.
- 10 Jimms – Powerline tuotekuvasto. 2016. Verkkodokumentti. Jimms PC Store. <<http://www.jimms.fi/fi/Product/Show/38407/679-f/n-a-ftp-suojattu-y-kaapeli-rj45-tp>> Päivitetty 2016. Luettu 13.04.2016.
- 11 Cisco Universal Power Over Ethernet - Unleash the Power of your Network White Paper. 2014. Verkkodokumentti. Cisco Systems Inc. <<http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-4500->

- series-switches/white\_paper\_c11-670993.html> Luotu 9/2014. Luettu 25.10.2015.
- 12 3G. 2015. Verkkodokumentti. AfterDawn Oy. <<http://fin.afterdawn.com/sanasto/selitys.cfm/3g>> Päivitetty 11.2.2015. Luettu 30.10.2015.
  - 13 Mitkä ovat langattoman verkon eri suojaustavat?. 2015. Verkkodokumentti. Microsoft. <<http://windows.microsoft.com/fi-fi/windows/what-are-wireless-network-security-methods#1TC=windows-7>> Päivitetty 2015. Luettu 4.11.2015
  - 14 The 18 best Powerline adapters 2015/2016: Here are the best Powerline adapters you can buy in the UK right now. 2015. Verkkodokumentti. PC Advisor. <<http://www.pcadvisor.co.uk/test-centre/network-wifi/18-best-powerline-adapters-2015-2016-uk-3490638/>> Luotu 7.11.2015. Luettu 9.11.2015.
  - 15 IEEE 802.3™-2012 - Section One. 2012. Verkkodokumentti. IEEE Standards Association. <<http://standards.ieee.org/about/get/802/802.3.html>> Luotu 28.12.2012. Luettu 10.11.2015.
  - 16 Nylund Group Energia, ekologisuus, elinkaari. 2016. Verkkodokumentti. Jyrki Laine, Nylund Group Oy. <<http://nssoy.fi/uploads/nss/Nylund%20Group.pdf>> Luettu 13.4.2016

## Liite 1: Mittaustulokset

Lähtökohdat:		Download/Upload	Keskiarvo	Keskihajonta Download	Keskihajonta Upload
Modeemin vieressä verkkopiihalla kytkettynä (Mb/s):		13,77/0,84; 13,31/0,84; 13,74/0,87	13,61/0,85	0,257358375	0,017320508
Modeemin vieressä WLAN:lla (Mb/s):		7,30/0,83; 7,02/0,86; 6,25/0,77	6,86/0,82	0,543721743	0,045825757
Olohuoneesta WLAN:lla keittiön modeemiin (Mb/s):		8,02/0,77; 6,40/0,80; 7,27/0,82	7,23/0,80	0,810740402	0,025166115
Yläkerrasta WLAN-yhteys keittiönmodeemiin (Mb/s)		7,46/0,76; 6,70/0,80; 7,13/0,82	7,10/0,79	0,381094914	0,030550505
Verkkoyhteys yläkertaan					
Keittiön pistokkeessa		Yläkerran pistokkeessa	Nopeus (Mb/s)	Keskiarvo	
TP-Link TL-PA4010	TP-Link TL-WPA4220	15,39/0,79; 15,03/0,79; 15,13/0,79	15,18/0,79	0,185831465	0
	ZyxeI PLA5205	15,12/0,79; 15,16/0,86; 15,07/0,85	15,12/0,83	0,045092498	0,037859389
TP-Link TL-WPA4220	TP-Link TL-PA4010	15,12/0,83; 15,07/0,67; 14,62/0,78	14,94/0,76	0,275378527	0,081853528
	ZyxeI PLA5205	14,99/0,87; 15,01/0,77; 15,12/0,82	15,04/0,82	0,07	0,05
	WLAN-yhteys keittiöstä	14,88/0,87; 15,13/0,82; 15,25/0,85	15,09/0,85	0,188767935	0,025166115
ZyxeI PLA5205	TP-Link TL-WPA4220	15,13/0,84; 15,11/0,86; 15,12/0,79	15,12/0,83	0,01	0,036055513
	TP-Link TL-PA4010	15,09/0,86; 15,17/0,86; 15,10/0,86	15,12/0,86	0,043588989	0
Verkkoyhteys alakertaan					
Keittiön pistokkeessa		Olohuoneen pistokkeessa	Nopeus	Keskiarvo	
TP-Link TL-PA4010	TP-Link TL-WPA4220	15,11/0,79; 15,14/0,80; 15,15/0,83	15,13/81	0,02081666	0,02081666
	ZyxeI PLA5205	15,15/0,89; 15,11/0,86; 15,11/0,74	15,41/0,83	0,023094011	0,079372539
TP-Link TL-WPA4220	TP-Link TL-PA4010	15,13/0,81; 15,14/0,83; 15,17/0,83	15,15/0,82	0,02081666	0,011547005
	ZyxeI PLA5205	15,04/0,82; 15,18/0,72; 15,16/0,80	15,13/0,78	0,075718778	0,052915026
	WLAN-yhteys keittiöstä	15,15/0,86; 15,05/0,80; 15,14/0,85	15,11/0,84	0,055075705	0,032145503
ZyxeI PLA5205	TP-Link TL-WPA4220(piiha)	15,17/0,84; 15,13/0,75; 15,18/0,86	15,16/0,82	0,026457513	0,058594653
	TP-Link TL-WPA4220(WLAN)	15,12/0,53; 15,01/0,87; 15,13/0,84	15,09/0,75	0,066583281	0,188237439
	TP-Link TL-PA4010	13,79/0,85; 15,01/0,84; 15,13/0,85	14,64/0,85	0,74144004	0,005773503
	ZyxeI PLA5205	13,77/0,84; 13,84/0,82; 13,72/0,82	13,78/0,83	0,060277138	0,011547005